RÉSIDUS DE GLYPHOSATE DANS LE FEUILLAGE, LES RAMILLES ET LES FRUITS SAUVAGES SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES EN MILIEU FORESTIER EN 1985 ET 1986

Québec

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1989. Résidus de glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits sauvages suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la conservation, Service des études environnementales, publ. 3321, 27 p.

SUMMARY

In 1985 and 1986, the ministère de l'Énergie et des Ressources conducted an environmental study of glyphosate (Roundup™). The herbicide glyphosate is used in ground applications for the upkeep of softwood plantations in public forests. The goal of this environmental monitoring was to determine the residual quantity and persistence of glyphosate in the foliage, twigs and wild fruit of the major ligneous species found in spraying areas. Near 35 samples, generally composite, were analysed. These surfaces were treated with 1.5 kg of active ingredients per hectare.

In foliage, the maximum concentration of residues was 45.3 µg/g (fresh weight) in raspberry, 6 days following the treatment. After 27 days, 15 % of this quantity was recorded and after 48 days, 6 % was found. In birch twigs, the maximum quantity of glyphosate was 9.88 µg/g, 3 days following the application. After 49 days, only 1.30 µg/g was found, or about 13 % of the maximum recorded. In wild fruit, results varied. The maximum residues detected were found in raspberries 7 days after the application and corresponded to 36.5 µg/g. After 27 days, the value obtained was 0.139 µg/g. In blueberries, residues showed 7.90 µg/g after one day and dropped to 2.09 µg/g after 22 days.

Even considering the highest level of residues found in the vegetation and in fruit, there is little probability that wildlife and humans will suffer any significant direct consequences. However, residues in fruit have consistently been higher than the maximum limit established by the federal Food and Drug Act for chemical products in food (0.1 ppm) and it is the reason why panels were installed to forbid fruit picking.

It is recommended that such samplings continue to be carried out to confirm and validate the results already obtained.

Key words : glyphosate, residues, foliage, twigs, wild fruit, persistence

RÉSIDUS DE GLYPHOSATE DANS LE FEUILLAGE, LES RAMILLES ET LES FRUITS SAUVAGES SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES EN MILIEU FORESTIER EN 1985 ET 1986

Jean Legris, biologiste
Gisèle Couture, tech. de la faune

Service des études environnementales

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction de la Conservation

Québec, mars 1989

89-05335/

Dépôt légal - 2e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-19865-4
No de publication: 3321

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes du ministère de l'Energie et des Ressources pour leur collaboration à la réalisation de cette étude:

Simon Arbour, étudiant
Michel Carmichael, tech. de laboratoire
Gilles Gaboury, biologiste, Chef de service
Sylvie Jean, tech. en arts appliqués et graphiques
Luc Laberge, biologiste
Denis Labrie, tech. de la faune
Guy Mamarbachi, chimiste
Nicole Nadeau, tech. de laboratoire
Pierre Petitclerc, tech. de la faune
Simone Roy, secrétaire
Robert St-Laurent, étudiant

Des remerciements sont également adressés au personnel travaillant aux pulvérisations de phytocide dans chacune des unités de gestion concernées.

SOMMAIRE

En 1985 et 1986, le ministère de l'Énergie et des Ressources entreprenait un suivi environnemental du glyphosate (Roundup^{MD}). Celui-ci est utilisé lors des pulvérisations terrestres de phytocides nécessaires à l'entretien de plantations de résineux en forêt publique.

La présente étude a pour but de connaître les quantités résiduelles et, par conséquent, la persistance du glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits des principales espèces ligneuses rencontrées dans les secteurs de pulvérisation. Près de 35 échantillons, généralement composites, ont été analysés. Ces superficies étaient traitées à une dose de 1,5 kg i.a./ha.

Dans le feuillage, la concentration maximale de résidus est de 45,3 µg/g (poids humide) chez le Framboisier, 6 jours après le traitement. Après 27 et 48 jours, on retrouve respectivement 15 et 6% de cette valeur.

Dans les ramilles de Bouleaux la quantité maximale de glyphosate est de 9,88 µg/g, 3 jours suivant le traitement. Après 49 jours, il ne reste que 1,30 µg/g soit environ 13% du maximum observé.

Dans les fruits, les résultats sont variables. Le maximum de résidus est détecté dans les framboises et correspond à 36,5 µg/g après 7 jours. À 27 jours, la valeur obtenue est de 0,139 µg/g. Dans le cas des bleuets, les résidus sont de 7,90 µg/g après un jour et ils diminuent à 2,09 µg/g après 22 jours.

Même en considérant le plus haut niveau de résidus retrouvé dans la végétation et les fruits, il s'avère peu probable que la faune et l'homme subissent des impacts directs importants. Cependant les résidus dans les fruits ont toujours été supérieures à la limite maximale établie (0,1 ppm) pour un produit chimique dans les aliments, selon la Loi des aliments et des drogues du Canada et c'est la raison pour laquelle des affiches sont installées afin d'interdire la cueillette des fruits.

On recommande de poursuivre de tels échantillonnages afin de vérifier et de valider les résultats déjà obtenus.

Mots-clés : glyphosate, résidus, feuillage, ramilles, fruits, persistance

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1989. Résidus de glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits sauvages suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3321, 27 p.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

SOMMAIRE v

TABLE DES MATIÈRES vii

LISTE DES TABLEAUX ix

LISTE DES FIGURES ix

INTRODUCTION 1

1. PROGRAMME DE PULVÉRISATION 3

    1.1 Description des secteurs de pulvérisation 3
    1.2 Produit utilisé et technique de pulvérisation 4

2. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE 7

    2.1 Matériel utilisé 7

    2.2. Description de l'échantillonnage 7
        2.2.1 Le feuillage 7
        2.2.2 Les ramilles 8
        2.2.3 Les fruits 8

    2.3 Technique d'analyse 9

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION 13

    3.1 Résidus de glyphosate dans le feuillage 13
    3.2 Résidus de glyphosate dans les ramilles 15
    3.3 Résidus de glyphosate dans les fruits 16
    3.4 Évaluation sommaire des impacts sur la faune et l'homme 18

CONCLUSION 23

BIBLIOGRAPHIE 25

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : Récupération du glyphosate dans le feuillage et les fruits à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse ... 10

TABLEAU 2 : Récupération du glyphosate dans les fruits et les ramilles à l'aide d'un chromatographe liquide à haute performance 11

TABLEAU 3 : Résidus de glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits traités à 1,5 kg i.a./ha en 1985 et 1986 . 14

TABLEAU 4 : Comparaison entre la quantité théorique de glyphosate ingérée et la DL_{50} du lapin et de la chèvre 18

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits en 1985 et 1986 4

FIGURE 2 : Résidus de glyphosate dans le feuillage de Framboisier en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1,5 kg i.a./ha en 1985 13

FIGURE 3 : Résidus de glyphosate dans les ramilles de Bouleaux en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1,5 kg i.a./ha en 1986 15

FIGURE 4 : Résidus de glyphosate dans les framboises en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1,5 kg i.a./ha aux secteurs Kedgwick et Trinité-des-Monts 16

FIGURE 5 : Résidus de glyphosate dans les bleuets en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de de 1,5 kg i.a/ha en 1986 17

INTRODUCTION

Dans le cadre de son programme d'entretien de plantations, le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) a utilisé, en 1985 et 1986, le Roundup[MD] pour contrôler la végétation compétitive des espèces reboisées. Le glyphosate est l'ingrédient actif de ce phytocide. Des pulvérisateurs à barillets de type BoomJet[MD] ont permis de traiter les sites par voie terrestre.

Lors de ces travaux de pulvérisation, plusieurs études ont été amorcées afin de mieux connaître le comportement et la persistance du produit en milieu forestier au Québec. Le sol (Legris et Couture, 1988), l'air (Major et Mamarbachi, 1987), le milieu aquatique (Legris et al., 1987) et la végétation ont fait l'objet de suivis environnementaux distincts. Une étude de l'exposition professionnelle chez les travailleurs a également été entreprise.

Le présent travail a comme objectif d'évaluer les concentrations résiduelles de glyphosate et leur persistance dans le feuillage, les ramilles et les fruits des principales espèces ligneuses retrouvées dans les aires traitées à la suite de pulvérisations opérationnelles. Ces essences sont de plus susceptibles d'être utilisées comme source de nourriture par les animaux ou l'homme.

Les résultats de cette étude pourront donc servir à évaluer les niveaux d'exposition et les risques associés à la consommation de la végétation traitée au glyphosate.

1. PROGRAMME DE PULVÉRISATION

Dans les forêts publiques du Québec, environ 2 500 ha ont été traités en 1985 avec le glyphosate. En 1986, cette superficie a atteint près de 5 000 ha. C'est dans la région du Bas St-Laurent/Gaspésie que l'on a réalisé la majorité des travaux de pulvérisation.

1.1 Description des secteurs de pulvérisation

Les pulvérisations de phytocide nécessaires à l'entretien des plantations se déroulent habituellement un ou deux ans après les travaux de reboisement. À ce moment la végétation compétitive des espèces reboisées atteint une hauteur de 1 à 2 mètres et est principalement composée d'espèces colonisatrices du milieu forestier telles le Framboisier (Rubus idaeus L.), le Cerisier de Pennsylvanie (Prunus pensylvanica L.f.), les Bouleaux (Betula papyrifera Marsh., B. alleghaniensis Britton), les Saules (Salix spp.), l'Aulne rugueux (Alnus rugosa (Du Roi) Spreng.) et l'Epilobe à feuilles étroites (Epilobium angustifolium L.). De façon générale, ces superficies sont dominées par le Framboisier dans une proportion de plus de 80%. Occasionnellement, on y a rencontré du Bleuet (Vaccinium angustifolium Ait. et V. myrtilloïdes Michx.) et du Sureau pubescent (Sambucus pubens Michx.).

Neuf secteurs présentant un potentiel d'échantillonnage intéressant ont été sélectionnés pour cette étude. Trois d'entre eux ont été traités en 1985 et six autres en 1986. La localisation de ces secteurs apparaît à la figure 1. La majorité des échantillons ont été prélevés dans la région du Bas St-Laurent et de la Gaspésie.

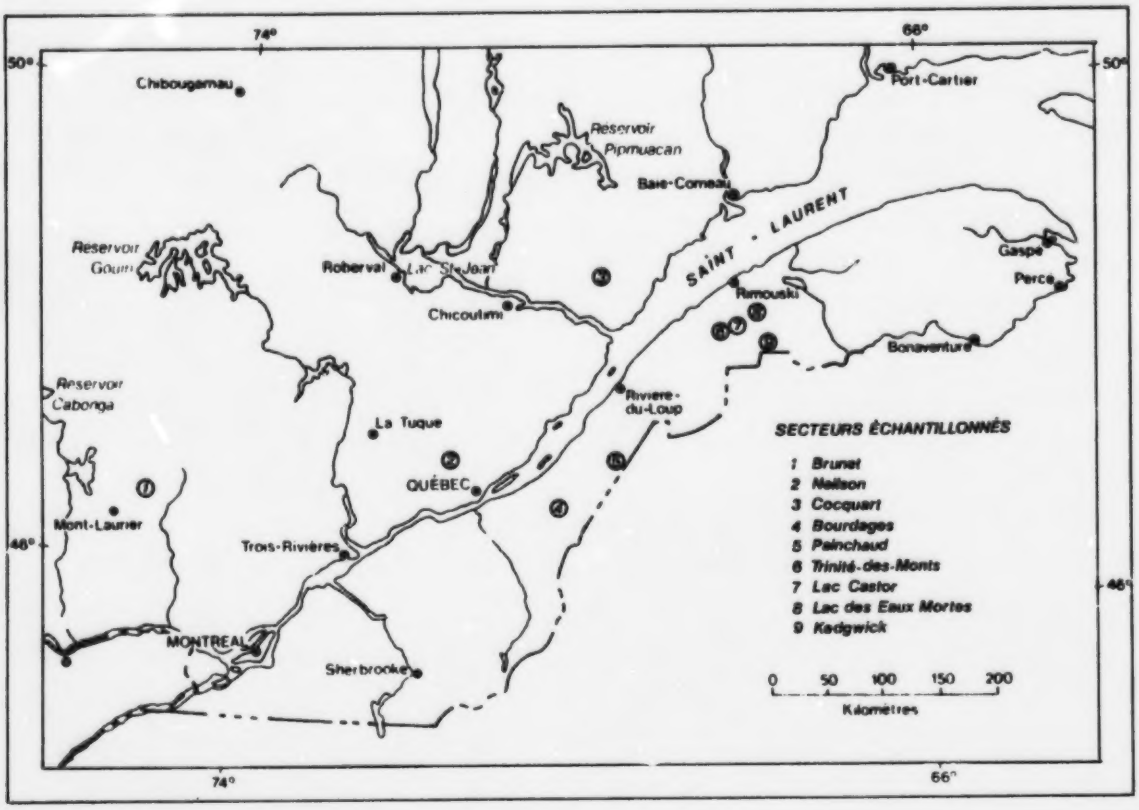

Figure 1. Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits en 1985 et 1986

1.2 Produit utilisé et technique de pulvérisation

Le Roundup^{MD}, fabriqué par Monsanto Canada Inc.[1], a été utilisé lors des pulvérisations réalisées en 1985 et en 1986. La formulation commerciale contient 41% de sel isopropylaminique de glyphosate et 59% d'additifs (eau et adjuvants). L'ingrédient actif est le glyphosate, N-(phosphonométhyle)glycine, qui est à une concentration de 356 grammes par litre de formulation.

---

[1] La citation des noms commerciaux ne constitue pas une recommandation d'utilisation par le MER. Depuis 1987, le Roundup^{MD} est désigné Vision^{MD}.

La dose théorique était de 1 495 grammes d'ingrédients actifs par hectare soit 4,2 litres de produit à l'hectare. La bouillie était pulvérisée au taux de 424,2 l/ha soit 1 portion de Roundup^{MD} pour 100 portions d'eau. Les sites étudiés ont été traités par voie terrestre avec des pulvérisateurs à barillet de type BoomJet^{MD}. La largeur de la bande effective de pulvérisation était de 15 mètres.

Le glyphosate est un phytocide non-sélectif, appliqué en période de post-émergence. Il agit de façon systémique et pénètre dans la plante presqu'exclusivement par le feuillage. L'absorption par les racines représenterait moins de 1% du glyphosate retrouvé au sol (Ghassemi et al., 1981) alors que moins de 25% de la quantité appliquée sur le feuillage serait transloquée particulièrement vers les extrémités méristématiques des tiges et des racines (Sandberg, 1978; Sandberg et al., 1980).

Sur le terrain, plusieurs espèces annuelles présentent des symptômes visibles de toxicité (ex. : flétrissement, chlorose, brunissement) 2 à 4 jours après le traitement et après 7 à 10 jours dans le cas des espèces vivaces (Monsanto, 1986). Selon diverses études, le mode d'action du glyphosate serait relié principalement à l'inhibition d'un enzyme relié au cycle de l'acide shikimique. Cela occasionnerait la réduction de la formation d'acides aminés aromatiques puis de certaines protéines essentielles à la survie de la plante (Cole, 1985).

Les normes du MER relatives à l'utilisation des phytocides en milieu forestier (Bélanger et Lécuyer, 1982) spécifient les périodes propices à la pulvérisation. La vitesse du vent doit être inférieure à 8 km/h, l'humidité relative supérieure à 50% et la température à l'ombre inférieure à 24^{o}C. Ces conditions favorables sont souvent réunies tôt le matin et à la tombée du jour. La pluie pouvant réduire l'efficacité du traitement, il est recommandé de s'assurer qu'il n'y ait pas d'averse à l'intérieur d'une période de quatre heures après la fin des pulvérisations. Mentionnons de plus que ces opérations ont lieu du début d'août à la mi-septembre alors que l'aoûtement (lignification des bourgeons terminaux) des conifères est terminé.

2. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

2.1 Matériel utilisé

Différentes pinces médicales ont été utilisées afin d'éviter tout contact de l'échantillon avec les mains. Les instruments, en acier inoxydable, étaient préalablement décontaminés avant chaque cueillette par des lavages à l'eau déminéralisée puis à l'alcool éthylique. Les prélèvements étaient directement déposés dans des récipients en verre préalablement rincés à l'eau déminéralisée, à l'acétone et à l'hexane. Des récipients d'une capacité de 250, 500 et 1 000 ml ont été utilisés respectivement pour la cueillette des échantillons de fruits, de ramilles et de feuilles. Le couvercle ne pouvant être décontaminé adéquatement, on insérait à l'intérieur de celui-ci, une feuille d'aluminium pour éliminer tout risque de contamination. Après la récolte, les échantillons étaient placés au frais (4°C) dans une glacière avant d'être expédiés au laboratoire et congelés jusqu'à leur analyse.

2.2 Description de l'échantillonnage

Les espèces échantillonnées ont été déterminées selon leur abondance et leur disponibilité au moment des opérations de pulvérisation. De plus, les espèces susceptibles d'être utilisées comme source de nourriture par la faune ou l'homme ont été privilégiées. Lorsque la distribution des espèces le permettait, trois stations étaient établies dans un secteur afin de prélever un échantillon composite. Cette façon de procéder permettait d'obtenir une image plus représentative de l'ensemble de la pulvérisation. En effet, elle atténuait les variations de dosages susceptibles de se produire dans un secteur donné (Dostie et Lécuyer, 1987). Plusieurs secteurs ont été échantillonnés avant le traitement en guise de contrôle (témoin).

2.2.1 Le feuillage

Des feuilles de Framboisier et de Bouleaux ont été récoltées respectivement dans les secteurs Kedgwick et Lac Castor en 1985.

Trois stations ont été établies pour le feuillage de Framboisier. Les stations mesuraient 2 m x 8 m et étaient disposées perpendiculairement au tracé du pulvérisateur. Lors de la récolte, l'échantillonneur prélevait le feuillage du tiers supérieur des tiges dans une parcelle de 2 m^2 à chaque station. À la visite subséquente, celui-ci se déplaçait dans une parcelle adjacente. Un échantillon composite, provenant de ces trois stations, a été récolté 1, 4 et 7 semaines après le traitement, les feuilles étant tombées au sol par la suite.

À cause de sa distribution plus limitée, le feuillage de Bouleaux n'a été recueilli qu'à une seule station. Ce prélèvement devait permettre une certaine comparaison avec les niveaux de résidus présents dans le feuillage de Framboisier. La station était localisée sur un site graveleux régénéré essentiellement en Bouleaux de moins d'un mètre de hauteur. L'échantillonneur a récolté un échantillon sur une vingtaine d'arbustes, trois semaines après la pulvérisation.

2.2.2 Les ramilles

Trois stations de ramilles de Bouleaux ont été établies dans le secteur de Trinité-des-Monts en 1986. Vingt arbustes d'une hauteur de près d'un mètre constituaient chacune d'entre elles. L'échantillonneur devait effectuer les prélèvements sur les mêmes plants à chaque visite. Celui-ci prélevait deux ramilles par arbuste en excluant les feuilles et les pétioles. Un échantillon composite des trois stations a été récolté 3, 11, 18, 22 et 49 jours après la pulvérisation.

2.2.3 Les fruits

En 1985, trois stations de framboisiers ont été préalablement établies dans le secteur Kedgwick et permettaient de composer un échantillon. Les fruits ont été prélevés à chaque semaine pendant le premier mois suivant les pulvérisations. Cependant, mentionnons qu'une visite post-traitement a permis de constater une pulvérisation incomplète d'une des stations échantillonnées. Ainsi, en 1986, la même expérience a été répétée au secteur Trinité-des-Monts afin de vérifier les résultats obtenus. Des échantillons composites ont été

récoltés seulement lors des trois premières semaines, faute de fruits après cette période.

De plus, en 1986, cinq échantillons de framboises ont été récoltés dans la première semaine suivant le traitement dans cinq autres secteurs de pulvérisations. Chaque échantillon était récolté à une station située perpendiculairement aux passages du pulvérisateur et qui couvrait au moins deux bandes de pulvérisation, c'est-à-dire environ 30 mètres.

Enfin, mentionnons que deux autres échantillons de framboises ont été cueillis en 1986 dans deux secteurs traités en 1985 (Cocquart et Lac Castor). Ceux-ci étaient récoltés dans des bandes de végétation résiduelle laissées entre les passages du pulvérisateur. Ces échantillons devaient permettre de vérifier la présence de résidus de glyphosate dans les fruits d'une végétation affectée partiellement par la pulvérisation.

D'autres espèces de fruits ont été récoltées afin d'évaluer et de comparer les quantités résiduelles de glyphosate. Des fruits de Sureau pubescent ont été récoltés dans deux secteurs traités en 1986, soit ceux de Trinité-des-Monts et du Lac des Eaux-Mortes. Cependant, un seul échantillon a pu être prélevé à partir d'une station à chacun de ces sites lors de la première semaine suivant le traitement, faute de fruit par la suite. Finalement, des bleuets ont été récoltés au secteur Bourdages. Une seule station a été établie et l'échantillonneur récoltait au même endroit à chaque visite. Des prélèvements ont été effectués 1 jour après la pulvérisation puis après 1, 2 et 3 semaines. Ces fruits ont généralement été prélevés à maturité.

2.3 Technique d'analyse

Les échantillons ont été analysés par le laboratoire de chimie du Service des études environnementales du MER.

Les échantillons récoltés en 1985 ont été analysés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse. Voici succinctement la description de cette méthode.

Le glyphosate est extrait de l'échantillon avec de l'eau purifiée dans un homogénéiseur. Après centrifugation, l'extrait végétal est purifié successivement sur résines anioniques (Seiber et al., 1984) et cationiques (Moye et al., 1983). L'extrait est ensuite soumis à une estérification puis à une acétylation selon la technique de Guinivan et al. (1982). L'identification et le dosage sont effectués à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé de deux détecteurs spécifiques à l'azote et au phosphore (NPD). La récupération du glyphosate dans le feuillage et dans les fruits a été évaluée et les résultats sont présentés au tableau 1. La récupération du glyphosate dans le feuillage de Framboisier et de Bouleaux était de l'ordre de 75% avec un coefficient de variation de 16% pour sept essais à un niveau de concentration de 1 µg/g. En ce qui concerne les fruits, 3 analyses effectuées sur des framboises enrichies de 1 µg/g ont donné une récupération moyenne de 79% avec un coefficient de variation de 21%.

TABLEAU 1. Récupération du glyphosate dans le feuillage et les fruits à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse

Nature de la végétation	Niveau de concentration (µg/g)	Nombre d'essais	Récupération moyenne (%)	Écart (%)	Coefficient de variation (%)
Feuillage	1	7	75	60-95	16
Fruits	1	3	79	62-96	21

Pour ce qui est des échantillons récoltés en 1986, la technique d'analyse utilisée nécessitait l'usage d'un chromatographe liquide à haute performance (Mamarbachi et Nadeau, 1987). Des tests de récupération ont été faits à partir d'échantillons enrichis d'un micro-gramme de glyphosate par gramme de fruits et de ramilles (tableau 2). Avec des framboises, cinq essais ont donné une récupération moyenne de 98% avec un coefficient de variation de 23%. Pour les ramilles de Bouleaux, quatre essais ont donné une récupération moyenne de 69% (± 6%).

La limite de détection pour les analyses réalisées à partir du matériel frais était de 0,050 µg/g pour chacune des deux techniques utilisées. Le pourcentage d'humidité de chaque échantillon était noté afin de permettre la conversion de ces résultats en µg/g de poids sec, si nécessaire.

TABLEAU 2. Récupération du glyphosate dans les fruits et les ramilles à l'aide d'un chromatographe liquide à haute performance

Nature de la végétation	Niveau de concentration (µg/g)	Nombre d'essais	Récupération moyenne (%)	Écart (%)	Coefficient de variation (%)
Fruits	1	5	98	69-132	23
Ramilles	1	4	69	63-73	6

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats (tableau 3) sont présentés et discutés en poids humide compte tenu de la faible variation des pourcentages d'humidité des échantillons. Ce choix permet aussi de mieux percevoir les risques associés à la consommation de la végétation et/ou des fruits, à l'état frais, par la faune ou l'homme.

En regard des variations obtenues lors des tests de récupération (tableaux 1 et 2), les résultats des substrats ayant une récupération moyenne inférieure à 80% ont été majorés en fonction d'un pourcentage de récupération de 100%.

3.1 Résidus de glyphosate dans le feuillage

Les résidus de glyphosate retrouvés dans le feuillage de Framboisier sont de 45,3, 6,59 et 2,57 µg/g respectivement 6, 27 et 48 jours après le traitement. Aucune pluie n'a lessivé le produit du feuillage avant le premier prélèvement et aucune strate végétale supérieure ne pouvait intercepter la pulvérisation.

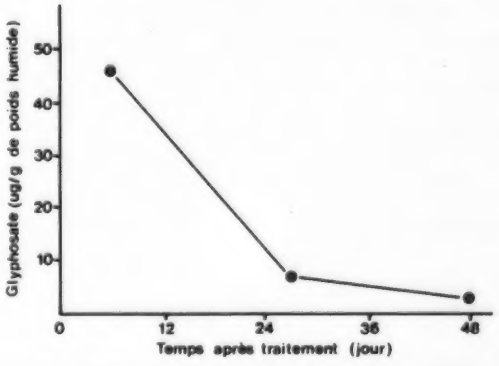

Figure 2 : Résidus de glyphosate dans le feuillage de Framboisier en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1,5 kg i.a./ha en 1985

Caseley et Coupland (1985) mentionnent que l'entrée du produit dans le feuillage serait rapide dans les premières heures suivie par une période de quelques jours où la pénétration serait plus lente. Ce cheminement serait influencé par plusieurs facteurs dont l'espèce végétale, l'âge de la plante, la dose appliquée et les particularités environnementales (ex.: pourcentage d'humidité).

La diminution de la quantité de résidus dans le feuillage en fonction du temps après traitement (figure 2) pourrait être attribuable principalement au lessivage des feuilles puis à la dégradation.

TABLEAU 3: Résidus de glyphosate[a] dans le feuillage, les ramilles et les fruits traités à 1,5 kg i.a./ha en 1985 et 1986

Végétation récoltée[b]		Secteur échantillonné	Temps après traitement (jours)																
			T[c]	1	2	3	6	7	8	11	13	14	15	18	20	22	23	27	48	49
Feuillage	(FRA)	KEDGWICK	ND[d]	-	-	-	45,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,59	2,57	-
	(BOU)	LAC CASTOR	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,85	-	-	-
Ramilles	(BOU)	TRINITÉ-DES-MONTS	ND	-	-	9,88	-	-	-	3,54	-	-	-	5,28	-	4,93	-	-	-	1,30
Fruits	(FRA)	KEDGWICK	ND	-	-	-	8,15	-	-	-	0,520	-	-	-	0,304	-	-	0,139	-	-
	(FRA)	TRINITÉ-DES-MONTS	-	-	6,28	-	-	36,5	-	-	-	-	5,19	-	-	0,368	-	-	-	-
	(FRA)	TRINITÉ-DES-MONTS	-	-	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(FRA)	LAC DES EAUX-MORTES	-	-	-	-	-	24,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(FRA)	PAINCHAUD	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(FRA)	NEILSON	-	5,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(FRA)	BRUNET	-	-	-	-	-	34,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(SUR)	TRINITÉ-DES-MONTS	-	0,278	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(SUR)	LAC DES EAUX-MORTES	-	-	-	-	16,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(BLE)	BOURDAGES	-	7,90	-	-	-	-	2,66	-	-	3,04	-	-	-	2,09	-	-	-	-

a. Valeurs majorées en regard des tests de récupération respectifs et exprimées en µg/g poids humide
b. Code des espèces: FRA = Framboisier, BOU = Bouleau blanc et B. jaune, SUR = Sureau pubescent, BLE = Bleuet
c. Échantillon témoin récolté avant traitement
d. Non-détecté (< 0,050 µg/g)

L'analyse de feuilles de Bouleaux récoltées 23 jours après le traitement permet de détecter 2,85 µg/g. Cette valeur demeure dans le même ordre de grandeur que celle retrouvée pour le Framboisier après un délai semblable.

Les pourcentages d'humidité de tous ces échantillons présentaient une très faible variation en fonction du temps (65 à 59%).

Peu d'analyses de résidus de glyphosate dans le feuillage sont retrouvées dans la littérature. Newton et al. (1984) rapportent qu'à la suite d'un traitement aérien de 3,3 kg/ha, la quantité de résidus dans le feuillage de la strate supérieure de la végétation est de 84 mg/kg[1]. Cette valeur était retrouvée avant une pluie survenue 12 heures après le traitement. Après 35 heures, le niveau des résidus passait à 4,3 mg/kg. Six jours après, les résidus se situaient à un niveau de 1,7 mg/kg.

3.2 Résidus de glyphosate dans les ramilles

Les résidus de glyphosate détectés dans les ramilles de Bouleaux en fonction du temps après traitement sont indiqués à la figure 3. Cinq échantillons prélevés 3, 11, 18, 22 et 49 jours après le traitement ont présenté des résidus respectifs de 9,88, 3,54, 5,28, 4,93 et 1,30 µg/g. Des précipitations de l'ordre de 5 mm ont affecté le site avant le premier prélèvement. Dans l'ensemble on dénote une tendance à la baisse des résidus en fonction du temps. Entre le 3ième et le 11ième jour après le traitement, environ 10 mm de pluie ont affecté le secteur. Les pourcentages d'humidité de ces ramilles variaient de 45 à 62 %.

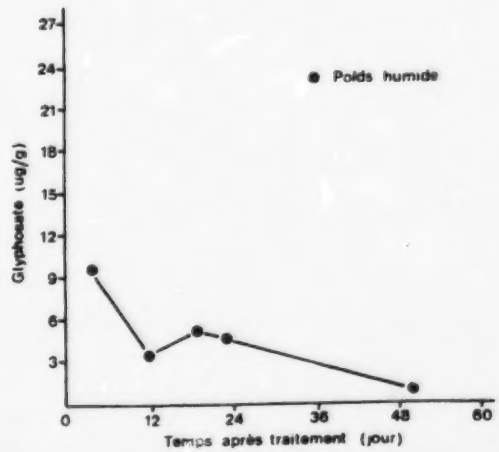

Figure 3 Résidus de glyphosate dans les ramilles de bouleaux en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1.5 kg i.a./ha en 1986

[1] mg/kg = µg/g = ppm (partie par million)

3.3 Résidus de glyphosate dans les fruits

L'analyse des quantités résiduelles de glyphosate a été effectuée dans trois espèces de fruits : les framboises, les bleuets et les baies de Sureau pubescent. Les deux premiers peuvent être consommés par l'homme et la faune alors que ceux du Sureau intéressent plutôt la faune avienne. Le pourcentage d'humidité de ces échantillons variait de 80 à 87% sauf pour les baies de Sureau recueillies au secteur Lac des Eaux-Mortes où il était de 70%.

Le suivi a été plus important pour les framboises puisque ce sont les fruits les plus abondants dans les territoires traités. Aux deux sites échantillonnés sur près d'un mois, les résidus de glyphosate varient d'un maximum de 36,5 µg/g après 7 jours à un minimum de 0,139 µg/g après 27 jours (figure 4). D'autre part, on constate une différence appréciable des niveaux des résidus après un délai d'environ sept jours. Ainsi, au secteur Trinité-des-Monts, les résidus atteignent 36,5 µg/g tandis qu'au secteur Kedgwick, ils sont de 8,15 µg/g. La sous-exposition au traitement de l'une des trois stations échantillonnées au secteur Kedgwick (voir section 2.2.3) peut expliquer partiellement cette différence.

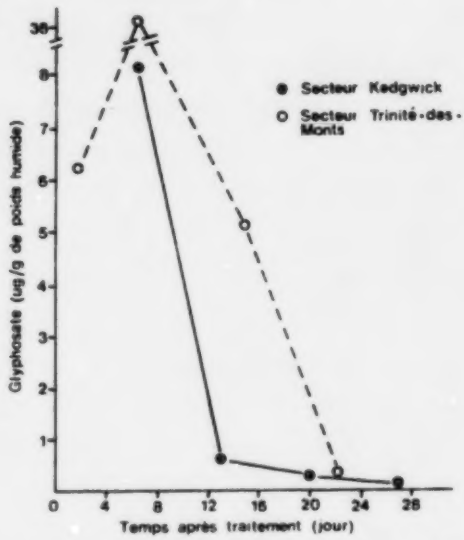

Figure 4 Résidus de glyphosate dans les framboises en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1.5 kg i.a./ha aux secteurs Kedgwick et Trinité-des-Monts

L'augmentation de la concentration de glyphosate observée durant les sept premiers jours dans le secteur Trinité-des-Monts est difficilement explicable. Le transport de résidus du feuillage vers les fruits pourrait être une hypothèse.

Lund-Hoie (1980) rapporte pour sa part quelques résultats qui s'apparentent au comportement que nous avons observé. Après 0, 3, 5 et 21 jours suivant une

application aérienne de 0,75 kg i.a./ha, il retrouve respectivement des résidus de 0,15, 0,22, 0,40 et < 0,05 mg/kg.

Avec ces seules données, il est difficile d'établir un comportement des résidus de glyphosate dans les framboises, spécialement lors des premiers jours suivant le traitement. D'autres suivis semblables dans divers secteurs seraient nécessaires afin de préciser le comportement du produit.

Les autres résultats présentés au tableau 3 fournissent des niveaux ponctuels de résidus dans les framboises pour divers secteurs. On remarquera que les trois échantillons prélevés peu de temps après l'application du phytocide (1 à 3 jours) présentent des niveaux de résidus qui avoisinent 5 µg/g. Pour un délai de 6 à 7 jours après le traitement, les deux résultats obtenus se situent autour de 30 µg/g. Le prélèvement d'autres échantillons s'avèreraient cependant nécessaire afin de vérifier ces données.

Enfin, mentionnons que deux échantillons de framboises, prélevés un an après la pulvérisation sur des plants sous-exposés, ont été recueillis dans les secteurs Cocquart et Lac Castor. Au secteur Cocquart, l'échantillon ne présentait pas de résidu détectable (<0,050 µg/g). Au Lac Castor toutefois, on a détecté des résidus de 1,58 µg/g de glyphosate. On doit cependant noter qu'un certain risque de contamination existait au moment du prélèvement puisque des travaux de pulvérisation de glyphosate étaient entrepris à proximité. Néanmoins, d'autres échantillons seront nécessaires pour vérifier ces valeurs.

Pour les bleuets, un seul site présentait suffisamment de fruits pour effectuer des prélèvements. Quatre échantillons ont été répartis sur 22 jours après le traitement (figure 5). Le maximum de résidus détecté a été de 7,90 µg/g, 1 jour après la pulvérisation tandis que le minimum observé à 22 jours a été de 2,09 µg/g. Les résidus tendent à diminuer en fonction du temps.

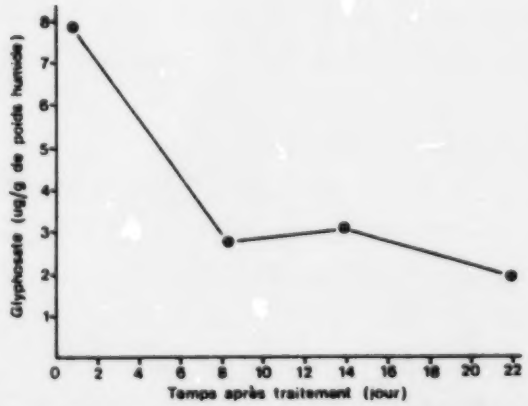

Figure 5 Résidus de glyphosate dans les bleuets en fonction du temps après traitement suite à une pulvérisation de 1,5 kg i.a./ha en 1986

Bien que la dose pulvérisée soit différente de la nôtre, mentionnons à titre de comparaison que Ingelod et al. (1977) retrouvent des niveaux de résidus en deçà de 1 µg/g dans des fruits de Bleuets recueillis 7 et 30 jours après une application de 0,5 kg i.a./ha. Rastikainen et al. (1979) observent pour leur part, des résidus de 1,4 ppm, 29 jours après une pulvérisation manuelle de 0,75 kg i.a./ha. À un dosage de 2,25 kg i.a./ha, les résidus sont de 3,3 ppm pour un même délai. Une autre étude réalisée en Finlande (Siltanen et al., 1981) indique des résidus de 2,1 mg/kg, 7 jours après un traitement à 0,75 kg i.a./ha.

Pour les fruits de Sureau, deux secteurs n'ont été échantillonnés qu'une seule fois (tableau 3). Nous n'avons pu poursuivre l'échantillonnage sur une plus longue période, faute de fruits. Les résidus détectés étaient de 0,278 et 16,9 µg/g pour des délais respectifs de 1 et 6 jours après le traitement.

Le degré d'exposition au produit ainsi que la morphologie des fruits pourraient expliquer en partie la variation des résultats obtenue entre les espèces. Cependant, comme l'échantillonnage s'est fait à divers sites et à différents moments, il est difficile actuellement de vérifier l'importance de ces variables.

3.4 Évaluation sommaire des impacts sur la faune et l'homme

Compte tenu de la variabilité des résultats obtenus et du faible nombre d'échantillons récoltés, nous évaluerons les impacts sur la faune et l'homme à partir des résidus maximums retrouvés dans cette étude.

Rappelons que le glyphosate agit principalement sur le cycle de l'acide shikimique qui n'est retrouvé que chez les plantes et les micro-organismes. Les propriétés toxiques du glyphosate sont donc réduites chez les animaux supérieurs (Cole, 1985). De plus, l'hydrosolubilité élevée du glyphosate, sa faible solubilité dans les graisses et son élimination rapide de l'organisme diminuent aussi les risques de bioaccumulation même en cas d'exposition répétée (Monsanto, 1985).

Peu d'études toxicologiques sur la faune sont rapportées dans la littérature. Nous devrons donc considérer les recherches effectuées en laboratoire sur des herbivores domestiques. Mentionnons à titre d'exemple que la dose létale (DL_{50})[1] par voie orale, du produit commercial, correspond à 4 860 mg/kg de poids corporel (PC) pour la chèvre (Monsanto, 1987) alors qu'elle est de 3 800 mg/kg-PC dans le cas du glyphosate, pour le lapin (Sacher, 1978).

Ainsi, en considérant les résidus maximums de 45,3 µg/g retrouvés dans les feuilles de Framboisier, un lapin pesant environ 1,5 kg devrait consommer en quelques jours, près de 126 kg de feuillage contaminé pour atteindre la DL_{50}. Bien entendu, cette situation est irréaliste puisque la consommation quotidienne de ce mammifère avoisine 0,15 kg de nourriture.

Pour les deux espèces pré-citées, une évaluation de la dose de glyphosate pouvant être ingérée quotidiennement par rapport à la DL_{50} est fournie au tableau 4. Mentionnons qu'un facteur d'exposition égal à 1 équivaut à une exposition à la DL_{50}.

TABLEAU 4 : Comparaison entre la quantité théorique de glyphosate ingéré et la DL_{50} du lapin et de la chèvre

Animal	Poids (kg)	Nourriture consommée par jour (kg)	Concentration dans la nourriture (mg/kg)	Quantité de produit ingéré par jour (mg)	Dose ingérée (mg/kg-PC)	DL_{50} (mg/kg-PC)	Facteur d'exposition
Lapin	1,5	0,15	45,3	6,79	4,53	3 800	$\frac{1}{839}$
Chèvre	60	3,0	45,3	136	2,27	4 860	$\frac{1}{2141}$

Les facteurs d'exposition calculés sont relativement faibles et sont basés sur une ingestion quotidienne de la quantité maximale de résidus. Ces facteurs sont surestimés puisqu'en milieu naturel, un organisme n'ingérera pas que de la végétation traitée. De plus, les quantités résiduelles de glyphosate diminueront en fonction du temps dans un secteur donné.

[1] Dose létale pour 50% d'une population donnée

Certaines études ont porté sur la consommation et les préférences alimentaires du Cerf à queue noire (Odocoileus hemionus columbianus Richardson) versus différents types de végétation traitée au glyphosate (Campbell et al., 1981; Sullivan and Sullivan, 1979). Les auteurs concluaient que les cerfs n'avaient aucune aversion à consommer de la végétation traitée à des doses semblables à celle que nous utilisons au Québec.

Atkinson (1985) pour sa part, a effectué une revue de littérature sur les effets à long terme possibles du glyphosate sur différents organismes. Des expériences réalisées en laboratoire n'ont rapporté aucun effet cancérigène, tératogène ou mutagène pour des doses correspondant au niveau de résidus retrouvés à la suite d'une pulvérisation de l'ordre de 1,5 kg i.a./ha.

À la lumière de ces données, nous envisageons peu d'impacts sur la faune dus aux quantités de résidus de glyphosate détectés au cours de cette étude.

Chez l'homme, les seuils de toxicité du produit ne sont pas disponibles. Généralement, on se fera une idée de la toxicité d'un pesticide en extrapolant les doses létales ou sublétales obtenues chez les mammifères.

Au Canada, un règlement de la Loi des aliments et des drogues (Santé et Bien-Être Social Canada, 1981) stipule qu'un aliment est falsifié s'il contient un produit chimique agricole ou un de ses dérivés, dans des proportions supérieures à 0,1 partie par million. Le glyphosate fait partie de ces produits. Comme nous retrouvons, dans les fruits des sites traités, des valeurs qui dépassent ce seuil, le ministère de l'Énergie et des Ressources interdit la cueillette de fruits dans les secteurs traités.

Aux États-Unis, une dose journalière acceptable (DJA) de 0,05 mg/kg-PC a été mentionnée pour l'homme (Monsanto, 1982). L'Agence américaine de protection environnementale spécifiait dans un document plus récent (Environmental Protection Agency, 1986), une DJA de 0,1 mg/kg-PC. D'autre part, lors d'une réunion conjointe tenue en 1986 entre l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la santé, une DJA maximale de 0,3 mg/kg-PC a été recommandée (Organisation des Nations Unies pour

l'alimentation et l'agriculture, 1987). En se basant sur la dose la plus limitative (0,05 mg/kg-PC), un individu pesant 70 kg pourrait absorber quotidiennement 3,5 mg de glyphosate et ce durant toute sa vie. En considérant le maximum de résidus retrouvés dans les fruits (36,5 µg/g), un individu pourrait consommer 96 grammes de framboises à chaque jour de sa vie. Basé sur la norme recommandée dans le document de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (0,3 mg/kg-PC) la quantité ingérée pourrait atteindre 576 grammes avant de dépasser la DJA. Dans ce calcul, on considère que le niveau de résidus dans les fruits consommés demeure stable alors que, en réalité, les concentrations diminuent en fonction du temps. De plus, la disponibilité de ces fruits est limitée à quelques semaines puisqu'ils tombent rapidement au sol. Compte tenu de ces données, il est peu probable que les résidus de glyphosate retrouvés dans les fruits causent des impacts notables chez l'homme.

CONCLUSION

À la suite de pulvérisations de glyphosate en milieu forestier, à la dose de 1,5 kg i.a./ha, le maximum de résidus retrouvé dans les divers types de végétation étudiés est observé dans le feuillage de Framboisier. Cette valeur est de 45,3 µg/g (poids humide), 6 jours après le traitement. Les niveaux de résidus diminuent dans le feuillage et les ramilles en fonction du temps après le traitement. Dans les fruits, il est plus difficile d'établir le comportement des résidus spécialement lors des premiers jours suivant le traitement.

En considérant le niveau le plus élevé de contamination de la végétation et des fruits retrouvé dans cette étude, les références consultées ne nous permettent pas d'envisager des impacts directs importants sur la faune et l'homme. Il serait toutefois souhaitable de prélever d'autres échantillons afin de vérifier la représentativité des résultats déjà obtenus et de mieux cerner le comportement des résidus particulièrement dans les premières semaines après l'application. Pour mieux cerner la répartition des résidus dans le feuillage, les ramilles et les fruits, il serait intéressant d'échantillonner un même groupe de plants selon une même séquence.

Un échantillonnage plus important de la végétation ayant résisté au traitement pourrait aussi être réalisé afin de vérifier la présence du produit lors d'une deuxième saison de croissance.

BIBLIOGRAPHIE

ATKINSON, D., 1985. Toxicological properties of glyphosate - a summary. In : The herbicide glyphosate, E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), Butterworths and Co. (Publishers), U.K., pp. 127-133.

BÉLANGER, P., L. LABERGE, R. LAMARRE et P. LÉVEILLÉ, 1982. Étude d'impact sur l'environnement des pulvérisations aériennes de phytocides en milieu forestier. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, 486 p.

BÉLANGER, P. et H. LÉCUYER, 1982. Normes relatives à l'utilisation de phytoçides en milieu forestier. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, 60 p.

CAMPBELL, D.L., J. EVANS, G.D. LINDSEY and W.E. DUSENBERRY, 1981. Acceptance by black-tailed deer of foliage treated with herbicides. USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Research paper PNW-290, 31 p.

CASELEY, J.C., and D. COUPLAND, 1985. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake, movement and activity. In : The herbicide glyphosate, E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), Butterworths and Co. (Publishers), U.K., pp. 92-123.

COLE, D.J., 1985. Mode of action of glyphosate - a litterature analysis. In : The herbicide glyphosate, E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), Butterworths and Co. (Publishers), U.K., pp. 48-74.

DOSTIE, R. et H. LÉCUYER, 1987. Évaluation du dépôt et de la dérive du glyphosate lors des pulvérisations terrestres en milieu forestier, 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la régénération forestière et Service des études environnementales, 39 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1986. Guidance for the reregistration of pesticide products containing glyphosate as the active ingredient. U.S., Office of pesticide programs, Washington, D.C., EPA-540/RS-86-155, p. 20.

GHASSEMI, M., L. FARGO, P. PAINTER, P. PAINTER, S. QUINIIVAN, R. SCOFIELD and A. TAKATA, 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticides and Toxic Substances, Washington, D.C., pp. A-149 - A-168.

GUINIVAN, A.R., P.N. THOMPSON and W.B. WHEELER, 1982. Derivatization and clean-up improvements in determination of residues of glyphosate and aminomethyl-phosphonic acid in blueberries. J. Assoc. Off. Anal. Chem., 65 (1) : 35-39.

INGELOG, T., K. ERNE, A.M. PAULSSON, H. JONASSON and A. HOLMGREN, 1977. Taste and flavor changes in woodland berries after herbicide spraying. Var Foda, 29 (6) : 223-237 (in Swedish).

LEGRIS, J., G. COUTURE, L. LABERGE et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de surface en milieu forestier suite à des pulvérisations terrestres, 1985. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3315, 35 p.

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1988. Résidus de glyphosate dans le sol forestier après des pulvérisations terrestres en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3318, 22 p.

LUND-HOIE, K., 1980. The impact of helicopter application of glyphosate on the management of Norwegian forest plantations. Association of Applied Biologists, Proceedings of the conference on weed control in forestry, April 1-2, Nottingham, U.K., pp. 73-82.

MAJOR, L. et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations de glyphosate dans l'air et exposition des travailleurs lors de certaines pulvérisations terrestres de phytocides, en 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3316, 11 p.

MAMARBACHI, G. et N. NADEAU, 1987. Méthode d'analyse du glyphosate dans l'eau, l'air, le sol, les sédiments et la végétation. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3319, 16 p.

MONSANTO CO., 1982. The health and environmental safety aspects of Roundup^{R} herbicide : An overview. Roundup^{R}, Herbicide bulletin, St-Louis, Missouri, no. 3, 6 p.

MONSANTO CANADA INC., 1985. Étude sur Roundup^{R} - Un herbicide inoffensif pour la santé et l'environnement. Roundup^{R}, Bulletin sur l'herbicide, Mississauga, Ontario, 6 p.

MONSANTO CANADA INC., 1986. Roundup^{R} - herbicide liquide de Monsanto - Livret d'instructions. Mississauga, Ontario, 50 p.

MONSANTO CANADA INC., 1987. Vision^{R} - Material safety data. Mississauga, Ontario, 6 p.

MOYE, H.A., C.J. MILES and S.J. SCHERER, 1983. A simplified high-performance liquid chromatographic residue procedure for the determination of glyphosate herbicide and (aminomethyl) phosphonic acid in fruits and vegetables employing postcolumn fluorogenic labeling. J. Agric. Food Chem., 31 (1) : 69-72.

NEWTON, M., K.M. HOWARD, B.R. KELPSAS, R. DANHAUS, C.M. LOTTMAN and S. DUBELMAN, 1984. Fate of glyphosate in an Oregon forest ecosystem. J. Agric. Food Chem., 32 (5) : 1144-1151.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, 1987. Résidus de pesticides dans les produits alimentaires - 1986. Rome, Étude FAO-Production végétale et protection des plantes, no 77, annexe 1.

PIHAKASKI, S., and K. PIHAKASKI, 1980. Effects of glyphosate on ultrastructure and photosynthesis of Pellia epiphylla. Annals of Botany, 46 (2) : 133-141.

RAATIKAINEN, M., H. SILTANEN, C. ROSENBERG, T. RAATIKAINEN and J. MUKULA, 1979. Herbicide residues in cowberries, bilberries and lichens in controlled ground spraying experiments on woodland. Annales Agriculturae Fenniae, 18 (2) : 112-116.

SACHER, R.M., 1978. Safety of Roundup in the environment. Proceedings, Roundup Seminar, Madrid, supplementary papers, pp. 3-23.

SANDBERG, C.L., 1978. Herbicidal efficacy and physiological aspects of glyphosate (N-(phosphonomethyl)glycine) on field bindweed (Convolvulus arvensis L.). Dissertation Abstracts International, B, 39 (3) : 1074-1075.

SANDBERG, C.L., W.F. MEGGITT and D. PENNER, 1980. Absorption, translocation and metabolism of ^{14}C-glyphosate in several weed species. Weed research, 20 (4) : 195-200.

SANTÉ ET BIEN-ÊTRE SOCIAL CANADA. Loi des aliments et des drogues. Article 4, Règlement sur les aliments et drogues, 1981, partie B, titre 15, B.15.002. p. 66.

SILTANEN, H., C. ROSENBERG, M. RAATIKAINEN and T. RAATIKAINEN, 1981. Triclopyr, glyphosate and phenoxyherbicide residues in cowberries, bilberries and lichen. Bull. Environm. Contam. Toxicol., 27 : 731-737.

SEIBER, J.N., M.M. McCHESNEY, R. KON and R.A. LEAVITT, 1984. Analysis of glyphosate residues in kiwi fruit and asparagus using high-performance liquid chromatography of derivatized glyphosate as a clean-up step. J. Agric. Food Chem., 32 (3) : 678-681.

SULLIVAN, T.P., and D.S. SULLIVAN, 1979. The effects of glyphosate herbicide on food preference and consumption in black-tailed deer. Canadian Journal of Zoology, 57 (7) : 1406-1412.

USDA FOREST SERVICE, 1984. Pesticide background statement : glyphosate. In : Pesticide background statements : volume 1. Herbicides, Agriculture handbook no. 633, pp. G1-G72.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service des études environnementales